

テキストシリーズ  
プラスチック成形加工学 VI

# 先端 成形加工技術

プラスチック成形加工学会 編

シグマ出版

み防止を如何に解決していくかが課題である。一方、省資源の見地からは断熱・軽量化を目的にした発泡成形も今後は多様化が進むものと考えられる。中間層発泡、部分発泡などに代表される発泡技術の確立が今後必要になる。

ハード面では、小型押出機を用いた大吐出量生産が必要であり、成形速度の高速化を実現する革新的なスクリーンデザインの開発が必須となる。大容量生産による成形品の広幅化の問題も顕在化している。特に広幅フィルム成形では幅10mを越えるフィルムを生産しようとしており、機械振動防止技術・自動厚み制御システムなどの技術確立が必要である。高品位の面では、成形性に劣る特殊エンブラなどの超極薄成形技術が要請されており、そのための新規の成膜プロセスや延伸技術などの開発が必要となる。

さらに近年特殊用途や低コスト化の目的で専用特殊化した成形品の要求が高まっている。これらを実現させるためには、これまでの成形の枠を越えた異種成形分野（射出、圧縮、中空、圧空・真空など）を複合化させた、押出成形を軸とした成形技術の開発が今後益々求められてくると予想される。

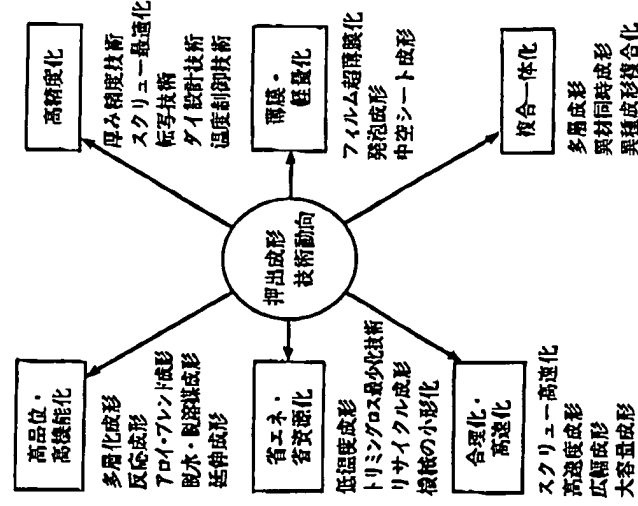


図 3.115 押出成形の技術動向

### 3.3 中空成形

中空成形は、予備成形品（パリソン, parison）を金型内で圧縮空気により膨張させ成形するため、ブロー成形（blow molding）ともよばれる。製品としては液体洗剤・醬油などの調味料・清涼飲料などのボトル、ガソリンタンクなどの自動車部品があげられる。代表的な成形品を図 3.116 に例示する。また、中空成形法を分類して図 3.117 に示す。押出成形で溶融パリソンを成形した、中空成形法を分類して図 3.117 に示す。押出成形で溶融パリソンを成形した、溶融状態のままブローするのがダイレクトブロー成形（direct blow molding）であり、一般のボトルあるいは自動車部品の成形方法である。今日までの成形法が中空成形の中心をなしている。また、射出成形などで成形した試験管状のパリソンを固体状態でブローし、ボトルに延伸効果を与える成形方法がある。固体パリソンを用いることからコールドパリソン法とよばれる。こちらはボトルのみに応用されている。ボトルなどの小容量容器には小型成形機が用いられ、ガソリンタンク・自動車部品などの大型製品には後述するアキュムレーター（accumulator）を備えつけた大型成形機が用いられる。



図 3.116 中空成形品例

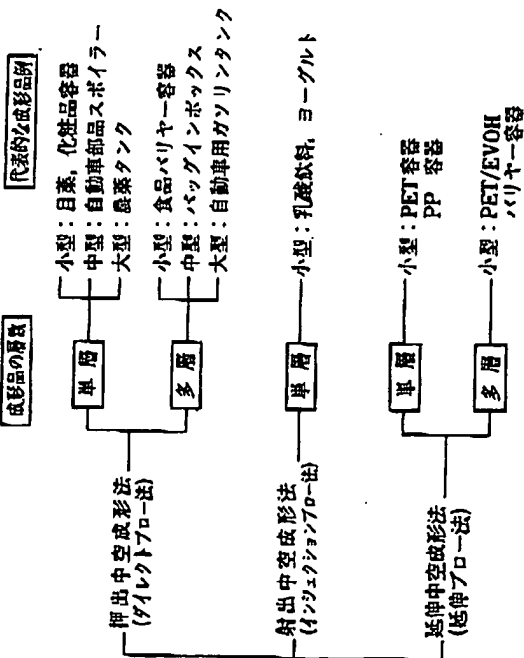


図 3.117 中空成形法の分類

## 3.3.1 中空成形の歴史

中空成形はガラスびんの成形で古くから行われてきた。ガラス以外では、1880年にセルロイドに関する中空成形の特許が現れる。これは、予備成形されたセルロイドを金型内で加熱軟化させ、中空成形するものである。セルロイドの成形などはこの方法で成形された。熱可塑性プラスチックを用いた近代的中空成形が確立されたのは、1930年代である。商業生産での中空成形は、米国での1940年代PEの工業生産開始とともに始まる。日本においては1950年代にPEボトルが工業生産されたが、1955年にはバルブ切り替え2ヘッド技術が確立され、量産化がなされるとともにPPボトルの生産が行われた。1960年にはロータリー一式の大量生産機が出現している。さらには、1950年代に透明性、ガスバリアー性に優れるPVCボトルが食品用に上市された。このようにガラスびんの代替が中空成形容器の原点といえ、中空成形は容器、すなわち、ボトルの歴史でもある。これらのプラスチックボトルはダイレクトブロー成形であり、材料固有の性能がほとんどそのまま製品性能として現れた。そこで、加工により材料性能をさらに向上させようとして、考案されたのが延伸中空成形 (stretch blow molding) である。当初、PPで試みられ、PETの強度

向上がはかれたためボトル成形の主流となった。

中・大型成形は、すべてダイレクトブロー成形法で生産され、日本では1970年代に中型の型締力20～30tonfクラスによる20lの灯油缶や薬品缶の生産が行われた。これを契機にして、70年代後半、太陽熱利用温水器の集熱器や貯湯タンクの生産に型締力60tonfクラスの成形機が用いられ、さらに1983年には、自動車専用ガソリンタンク専用機として100～120tonfまで大型化がなされている。成形品対象も農薬タンク、ドラム缶、サーフィンボード、貯水槽とひろがり、その形状も複雑化している。

## 3.3.2 小型中空成形技術の現状と課題

## (1) 押出中空成形 (ダイレクトブロー成形)

PE, PP, PVC, PC, PSなどの成形に使用される。成形過程は、図3.118に示すように、まず溶融樹脂をダイからパイプ状 (パリソン) に押し出し、溶融状態のまま金型に挟み、溶融パリソンの一端もしくは両端を融着するとともに内部に圧縮空気を吹き込んで成形する。自重による垂れ下がりによりパリソンが細くなる現象であるドロウダウン (draw down) を防ぐため溶融張力 (melt tension) の大きい材料が使用される。圧縮空気は0.5～1MPaと比較的低圧である。

実生産は連続押出で行われる。図3.119<sup>1)</sup>に示されるように、生産性や製品の品質安定性を考慮すると多数個金型ロータリー式<sup>2)</sup>が、また少量生産向きに

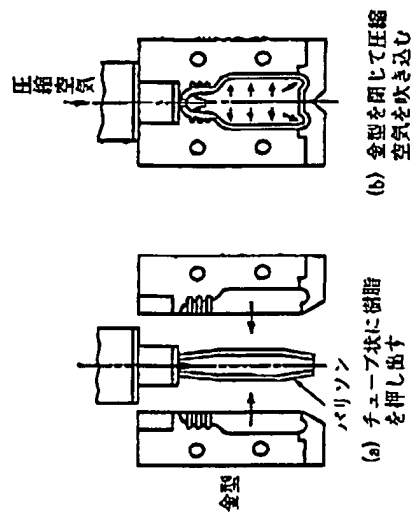


図 3.118 押出中空成形 (ダイレクトブロー成形)

などの超高温熱性がリマ一粉末に対してもこの成形法の応用が試みられ、一部では実用化されている。

焼結成形の基本原理は、常温で適度の圧密状態に圧縮した粉末原料の予備成形品を融点以上の温度に加熱して粉末粒子の表面を溶融し、接触粒子間での表面融着により全体の骨格を形成する。それをさらに加熱して粒子の流動による均質化をはかる<sup>2)</sup>。その際、溶融粘度が非常に高くて焼結過程での粒子の流動変形が困難な樹脂の場合は、粒子間に形成される空隙が成形品中に残存することになる。このような多孔構造を活かして、通気性素材や各種フィルター素材などへの応用も試みられている。

焼結成形品の空隙構造の制御については、原料の粉体物性（粒度分布、形状、かさ密度、安息角、硬度など）<sup>2,11)</sup>および樹脂そのものの素材特性（化学組成、重合度、溶融流動性など）<sup>12)</sup>、さらには予備圧縮成形条件、焼結の温度、時間条件などが重要な要因となる<sup>2,13)</sup>。

### 3.5.5 粉末加圧成形

粉末加圧成形は、金型内でプラスチック粉末を加圧圧縮して粒子の塑性変形や内部発熱などによる粒子合体を行い成形品を得る方法である。この加圧を常温で行う冷間加圧成形法（図3.162）<sup>9)</sup>、加熱を伴う熱間加圧成形法、さらには常温で超音波振動を加えながら加圧する超音波成形法（図3.163）<sup>9)</sup>などの研究が行われており、工業的な応用の有用性についても検討されてきた<sup>1)</sup>。

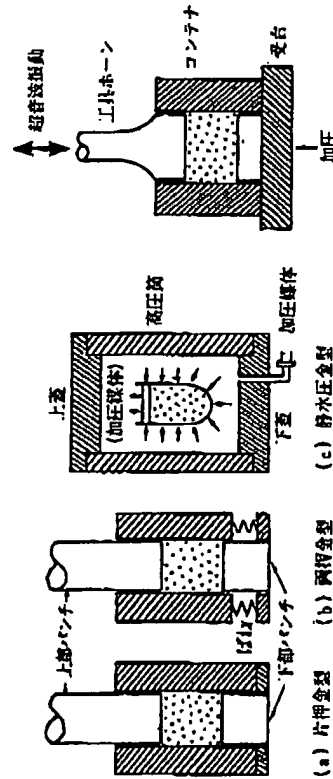


図3.162 冷間粉末加圧成形金型

図3.163 超音波粉末成形金型

冷間粉末加圧成形は、加熱せずに圧縮力による塑性変形で粒子を合体させて成形品を得ようとするものである。省エネルギー、省資源、生産性などの点から有効な技術として期待されるが、粒子間の不均質な変形挙動や内部発熱挙動、弾性回復などによる変形や寸法変化が問題となり、アニーリング処理などによる対策が検討されている。加圧方法は機械的加圧のほか、静水圧により加圧する方法も用いられる。

さらに、冷間加圧過程で超音波振動エネルギーを付与することにより、粉末粒子間の摩擦熱を増大させて粒子同士の合体と構造の均質化を促進させる効果が認められている。その結果として成形時間短縮、成形精度や製品物性の向上などの可能性が報告されている<sup>14)</sup>。

これらの成形法の工業的な実用化に向けての更なる検討が望まれる。

### 3.5.6 粉末成形の技術動向

プラスチックの粉末成形は、多くの特徴的な技術体系をもち、省資源、省エネルギー、装置の簡易性と製造コスト、製品の多様性など多くの面で魅力的な可能性を内蔵している。しかし日本においては、欧米に比べて粉末成形（特に主体となる回転成形）に対する関心が低く、生産量の伸びも少ない現状である。今後これらの成形技術の利点を目を向けて、競合関係にある他の成形法では得られない新たな技術開発、製品開発を積極的に進めることによって、発展の可能性が考えられる。そのためには基礎理論の体系化に加えて、以下の技術的課題の検討が必要である。すなわち、①機械・装置の面での自動化と計測・制御機能の強化による成形サイクルの短縮と生産効率の改善、②すぐれた性能をもちながら射出や押出成形が不可能とされている新素材の成形技術開発、③金型の設計改善による対象製品範囲の拡大、などへの技術的な取組みが必要である。

## 3.6 二次成形

### 3.6.1 熱成形法

熱成形法（thermoforming）とは、「樹脂シート、もしくはフィルム素材を加熱軟化させ、何らかの外力で賦形する方法」であり、成形に採用する外力により、以下のように分類される。

- ① 無圧成形 (nonpressure forming) : シートの自重や遠心力を利用  
自由曲面成形 (gravitation forming : 0~1G)  
フリードロー成形 (free draw forming : 0~1G)  
回転成形 (rotational forming : 1G~)
- ② 気圧成形 (gas pressure forming) : 大気圧, 圧縮空気圧, 真空圧を利用  
真空成形 (vacuum forming : ~0.1MPa)  
圧空成形 (pressure forming : 0.1~0.7MPa)
- ③ 液圧成形 (hydraulic forming) : ダイアフラムを介し水圧や液圧を利用  
水圧成形 (water pressure forming : 0.1~0.3MPa)  
油圧成形 (oil pressure forming : 0.1~0.5MPa)
- ④ 機械圧成形 (mechanical forming) : 加圧力を高め, 機械的な外力を利用  
マッチドモールド成形 (matched mold forming : 0.1~5MPa)  
リッジ成形 (ridge forming : ~0.3MPa)  
曲げ加工 (bending)

これらの成形法は, 19世紀の後半から製品化が始まったセルロイドシートの加工から開花したといっても過言ではない。当初, セルロイドは唯一の延展性のある合成樹脂シート素材であり, 熱水や蒸気中, あるいは熱板間にて加熱軟化され, リッジ成形やマッチドモールド成形などの機械圧成形を中心に加工が試みられたが, 日用品や玩具を中心とした用途展開のなかで, さらに, 大気圧による真空成形や圧縮空気圧による圧空成形などのさまざまな成形加工法が適用され, 各種の熱可塑性樹脂シートにも応用されてきた。当初は機械圧成形が試みられたが, 現在では熱成形法の主流は気圧成形であるため, ここでは気圧成形である真空成形および圧空成形を中心に述べる<sup>1)</sup>。

#### (1) 熱成形法の特徴と他の成形加工法との比較

真空成形および圧空成形の典型的な成形プロセスを図3.164に示すが, ①シートのクランプ, ②加熱, ③成形, ④冷却, ⑤トリミングで構成される。

ここで, シートの加熱は図3.165に示すように, 素材がゴム弾性を帯びた半溶融状態になるガラス転移点以上で融点までの温度範囲に制御される。なお, HDPEやPPのような結晶性樹脂では, 融点の前後まで加熱を行う必要があるなど, 樹脂による適正な加熱条件の選定が行われる。

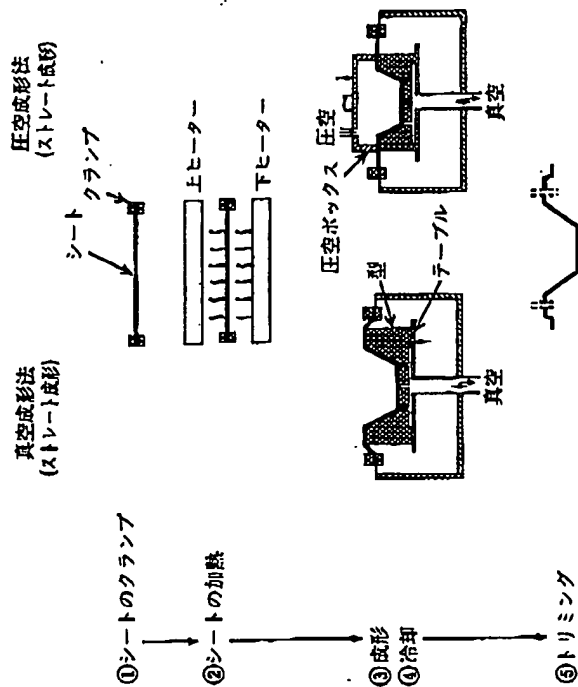


図3.164 真空・圧空成形の基本プロセス

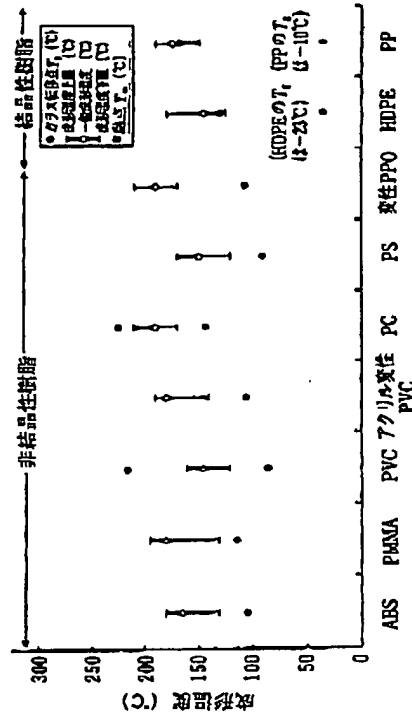
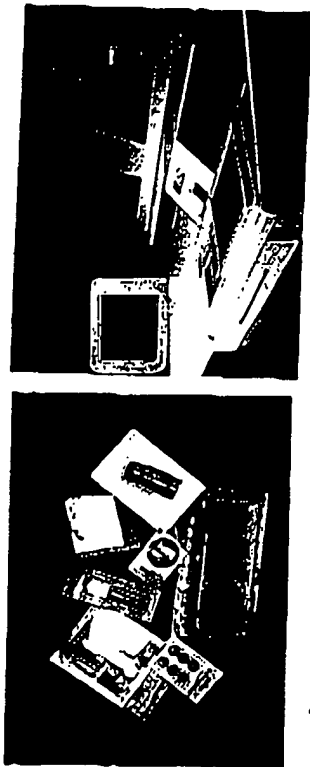


図3.165 熱可塑性プラスチックシートの温度特性と成形温度条件



ブリスターパッケージへの応用例  
コンピューター関連機器ハウジング等  
薄肉大型製品への応用例

図 3.166 真空・圧空成形の用途例

つまり、熱成形法は、冷却固化されたシートを再度加熱軟化し、半溶融状態で加工することを特徴とする二次成形法である。このことから、最初から樹脂を融点以上に加熱・溶融し、金型内に流し込み賦形する他の一次成形法に對し、一見、非効率的にみえる。しかし、成形品形態や要求精度（寸法精度、外観）、生産量、使用目的によっては、表3.23に示すように優れた点もあり、使い分けることが可能である。

すなわち、熱成形法では、樹脂がシート形状を保持しているため、容易に薄肉形状の成形品が得られ、また低い成形圧で済むため、成形機の機構や型強度に関連したコストを低減でき、生産エネルギー効率や経済的観点から、十分見合った製造法となり得る。

その結果、射出成形法では困難な薄肉品の大量生産用途において、食品包装用容器や、商品の流通に欠かせないブリスターパッケージの多くへ採用され、一方では、大型の薄肉製品や中空製品の多品種・少量生産への適用も進んでいる（図3.166）。また、より高い生産効率が要求される冷蔵庫ドアライナー・インナーボックス、自動車内外装品などの大型工業部品では、シート押出機と連動した熱成形法が適用されるなど、熱可塑性樹脂の汎用成形法として発展してきた。

## (2) 熱成形法の現状の到達点と課題

熱成形法において主流となっている真空・圧空成形法では、今日までの技術

表 3.23 熱成形法の特徴（射出成形法との比較）

長 所	短 所
設備費（型、成形機）が低廉である。	シートの製造が必要である。成形品に対し、5～40%程度の材料ロス（バリ部分）が発生する。
型は、凸凹型のいずれか一型でよく、生産個数により型の材質が選択できる。作製期間が短く、部分的なデザイン変更も容易なため、製品の納期が短い。	材料がオープンな状態で加熱・冷却が行われ、条件のコントロールが困難である。
小型から大型製品まで、生産が比較的容易である。試作による確認作業も容易である。	寸法精度が出にくく、デザインに制約を受ける。 （抜きテーパーやコーナー-Rを大きくする必要があり、アンダーカットのデザインにも、制約がある。）
薄肉成形品の生産性がよい。 （射出成形では、板厚0.1～0.2mmが限界。）	成形品の肉厚の調整が困難である。 リップ等の部分的な肉厚の変化を、任意に作製できない。
ウェルドライン（外観不良、強度低下箇所）の発生がない。	コーナー部や壁面部に寄肉部分が発生し、強度低下箇所となる。
予備印刷後の成形が可能である。	後加工（穴あけ、トリミング）の工程が必要である。
薄肉成形品での熱サイクル性は、間接ヒーター加熱と空気流冷却にて、高効率的に実施される。	厚肉成形品での熱サイクル性は、間接ヒーター加熱と空気流冷却にて、効率的に劣る。
小ロット成形（数個～数百個）では、シート製造時の熱エネルギーを加味しても、加熱・加圧エネルギーの投入に対する生産効率は高い。	大量ロット（数千～数十万個）においては、エネルギー投入に対する生産効率が低い。
板厚や色替えの自由度が高い。	

的課題は、①成形後の隅肉を小さくし自由に板厚をコントロールすること、および、②生産性を向上させることにあつたといえる。

これらは本成形法の永遠のテーマともいえるが、①の成形品の板厚を均一に制御するためには、シートを雌型または雄型に吸引する際、型に接触させる前に予張させておくことが大切である。雄型の一部をシートに押し込み予張を与

# 執筆者一覧

〈第1章 成形加工法概説〉	橋井秀俊	成形：圧縮成形、射出成形
東京大学	松下電工㈱	橋本羊一
〈第2章 混合・混練〉	井上公雄	(4.1 圧縮・射出・トランスファー
㈱神戸製鋼所	永江信一	成形：トランスファー成形)
〃	黒田好則	㈱日立製作所 佐伯準一
〈第3章 熱可塑性プラスチックの成形技術〉		(4.2 レジンインジェクション：
(3.1 射出成形)	館山弘文	RTM成形)
東北ムネカタ㈱	中村伸之	日立化成工業㈱ 井上知忠
日精樹脂工業㈱	沢江慎一	(4.2 レジンインジェクション：
ホンダエンジニアリング㈱	石橋準也	RIM成形)
(3.2 押出成形)	小林昭美	豊田合成㈱ 水野 亘
東芝機械㈱	飯塚 一	(4.3 SMC成形)
〃	佐野孝義	昭和高分子㈱ 渋谷千之
〃	古屋忠正	(4.4 FW成形、
〃		4.5 オートクレープ成形)
(3.3 中空成形)	丸橋吉次	三菱重工業㈱ 山口泰弘
東洋製糖㈱	山田祥輔	〃 水野 宏
㈱日本製鋼所	阿部 弘	〃 吉田幹根
(3.4 発泡成形)	白土 育	(4.6 積層成形)
積水化学工業㈱	岩倉賢次	住ベテクノリサーチ㈱ 部 甲 明
〃		(4.7 引抜成形)
(3.5 粉末成形)	柳 秀夫	小松化成㈱ 小沢延行
山形大学	関 有希	〈第5章 成形加工におけるシステム技術〉
(3.6 二次成形：熱成形)		(5.1 積層造形法 (ラピッドプロトタイ
筒中プラスチック工業㈱	小出 一毅	ピング)
〃		豊田工業大学 中川 威雄
(3.6 二次成形：スタンピング成形)		(5.2 システム技術)
出光エヌエスジエー㈱		㈱日本製鋼所 焼本数利
〈第4章 熱硬化性プラスチックの成形技術〉		〈第6章 リサイクル技術〉
(4.1 圧縮・射出・トランスファー		京都工芸繊維大学 木村照夫
		工学院大学 久保田和久

テキストシリーズ  
プラスチック成形加工学VI  
せんたんせいりいかこうぎゆつ  
先端成形加工技術

1999年12月25日 初版第1刷発行

〇編 著 成 形 加 工 学 会  
発行人 高 橋 満  
発行所 株式会社シグマ出版  
〒159-0031 東京都渋谷区松丘町15-8  
電 話 03 (3477) 0336 代  
FAX 03 (3477) 2710  
印刷所 新日本印刷㈱  
製本所 小高製本 ㈱

Printed in Japan

ISBN4-915566-45-X-C3058

Textbook Series

Polymer Processing Study VI

Advanced

Polymer Processing Techniques

Edited by the Japan Society of Polymer Processing

Sigma Publishing Co., Ltd.

p. 191

### 3.3 Hollow forming

A method of expanding a preformed part (parison) with compressed air inside a metal mold, hollow forming is also called blow molding. Products made using this method include parts for automobiles such as gasoline tanks and bottles for products such as liquid detergents, soy sauce and other types of seasoning, and soft drinks. Figure 3.116 shows some typical examples of such products. Figure 3.117 also shows the various classifications of hollow forming. Direct blow molding is a method by which a molten parison, which is preformed by extrusion forming, is blown and this processing method is used for bottles in general or automobile parts. Known as the hot parison method due to its use of a molten parison, this forming method is the most commonly employed type of hollow forming used today. Another processing method that is sometimes employed involves blowing a solid parison that has been preformed into a test-tube shape by injection forming. This method produces a stretch effect in bottle products. Called the cold parison method due to its use of a solid parison, it is applied only to bottles. A small forming machine is used for containers with a small capacity such as bottles, while a large forming machine equipped with an accumulator (described later) is used for large products such as gasoline tanks and automobile parts.



p. 192

#1: Number of layer in molded product

#2: Examples of main products

#3: Extrusion hollow forming (direct blow molding)

#4: Injection hollow forming (injection blow molding)

#5: Stretch hollow forming (stretch blow molding)

#6: Single layer

#7: Multiple layers

#8: Small: Containers for eye drops or cosmetics

Medium: Spoilers for automobiles

Large: Tanks for agricultural chemicals

#9: Small: Barrier containers for food

Medium: Bag-in-box containers

Large: Gasoline tanks for automobiles

#10: Small: Lactic acid beverages and yogurt

#11: Small: PET containers

PP containers

#12: Small: PET/EVOH

Barrier containers

Figure 3.117 Classifications of hollow forming

### 3.3.1 History of hollow forming

Hollow forming has long been employed in glass bottle processing. Its uses have not been limited to only to glass, however. In fact, a patent from 1880 exists that describes the process

for the hollow forming of celluloid, in which a preformed celluloid is softened by heating inside of a metal mold to achieve a hollow form. Celluloid dolls were formed using this method. It was in the 1930s that modern hollow forming techniques using thermoplastics were established. Hollow forming for commercial production began at around the same time as the development of the industrial production of PE in the United States in the 1940s. The industrial production of PE bottles in Japan did not begin until the 1950s, but with the establishment of valve-switching two-head technology in 1955, mass production of PE bottles was achieved together with the production of PP bottles. Rotary-type mass production machines first made their appearance in 1960. Furthermore, the 1960s saw the launch of PVC bottles, which offer excellent transparency and barrier properties, used for food products. One could almost describe the replacement of the glass bottle as the origin of hollow-molded containers, and hollow forming is essentially the history of containers, that is to say, the history of bottles. The performance of plastic bottles made by direct blow molding is almost directly determined by the performance of the materials used in their production. Stretch hollow forming (stretch blow molding) was developed to improve the performance of these materials by processing. Initially it was tested using PP, and due to the resultant improvement in PET strength, it became the principle method used in the formation of bottles.

p. 193

The forming of medium- and large-sized products was all performed by direct blow molding. In the 1970s in Japan, 20-liter kerosene containers or chemical containers were produced using medium-sized metal molds with a mold clamping force of 20 to 30 tonf. This led to the use of forming machines with a mold clamping force of 60 tonf in the production of heat collectors for solar hot water systems and hot water reservoir tanks in the late 1970s. In 1983, forming machines were enlarged to the point where they could produce a mold clamping force of between 100 and 120 tonf, which were used exclusively for the production of gasoline tanks for automobiles. The range of products manufactured by forming has since grown to include products with increasingly complicated shapes, such as tanks for agricultural chemicals, oil drums, surfboards, and water tanks.

### 3.3.2 Present state of small-sized hollow forming technique and problems faced

#### (1) Extrusion hollow forming (direct blow molding)

Extrusion hollow forming is used for forming with PE, PP, PVC, PC, or PS. As shown in Figure 3.118, the forming process starts with the extrusion of pipe-shaped molten resin (parison) from the die, followed by the clamping of the molten parison between the metal

molds. Compressed air is then blown inside the mold with either or both ends of the molten parison fused. In order to prevent draw down, a phenomenon in which the width of the parison narrows as it stretches under its own weight while suspended, materials with high melt tension are used. The compressed air has a relatively low pressure of 0.5 to 1 MPa.

p. 237

### 3.6 Secondary forming

#### 3.6.1 Thermoforming

Thermoforming is a method in which a sheet resin or film material is softened through heating and then shaped by the exertion of some kind of external force. The following is a list of thermoforming methods classified according to the type of external force applied.

p. 238

(1) Non-pressure forming: the sheet's own weight or a centrifugal force is used

Gravitation forming: 0 to 1 G

Free draw forming: 0 to 1 G

Rotational forming: 1 G or more

(2) Gas pressure forming: atmospheric pressure, compressed air pressure, or vacuum pressure is used

Vacuum forming: up to 0.1 MPa

Pressure forming: 0.1 to 0.7 MPa

(3) Hydraulic forming: hydraulic pressure (water or liquid) is exerted via diaphragm

Water pressure forming: 0.1 to 0.3 MPa

Oil pressure forming: 0.1 to 0.5 MPa

(4) Mechanical forming: the pressurizing force is increased and a mechanical external force is used

Matched mold forming: 0.1 to 5 MPa

Ridge forming: up to 0.3 MPa

### Bending

It is no exaggeration to say that these forming methods began to flower with the processing of celluloid sheets, the manufacturing of which started in the late 19th century. In the beginning, celluloid was the sole synthetic resin sheet material with ductility, and most attempts to process it were made by first heating it in hot water, in steam, or between hot plates to soften it and then using matched mold forming or ridge forming to mechanically form it. However, as the use of celluloid spread—mainly in the production of daily necessities and toys—a variety of new forming methods were applied. These methods included vacuum forming with atmospheric pressure or pressure forming with compressed air pressure, which have since been applied to other types of thermoplastic resin sheets, as well. Mechanical forming was tried at first, but nowadays gas pressure forming is the most commonly used type of thermoforming. Consequently, this section will focus mainly on describing two forms of gas pressure forming: vacuum forming and pressure forming.

#### (1) Characteristics of thermoforming and comparison with other forming methods

As shown in Figure 3.164, the forming process typically employed in vacuum forming and pressure forming consists of the following stages: 1) sheet clamping, 2) heating, 3) forming, 4) cooling, and 5) trimming.

Here, the heating of the sheet is kept within a temperature range from no lower than the glass transition temperature, where the material becomes semi-molten with a rubbery elasticity, to the melting point, as indicated in Figure 3.165. The selection of the appropriate heating condition is also dependent on the resin type; for example, crystal resins such as HDPE or PP need to be heated to around their melting point.

p. 240

In other words, thermoforming is a secondary forming method characterized by the softening of a sheet that has cooled and solidified by reheating it and then processing it while it is semi-molten. Compared to primary forming methods, in which the resin is melted by heating it to above its melting point from the start and then poured and shaped inside a metal mold, this method may seem inefficient at first glance. Depending on the form and degree of accuracy required for a product (its dimensional accuracy and appearance), the quantity of production,

and its purpose, however, it is possible to apply both approaches as this method does have some advantages, as shown in Table 3.23.

Thin-wall products can be easily formed by thermoforming since the resin is able to hold its sheet shape. In addition, the costs related to the mold's structure and strength can be reduced because only a low forming pressure is required. This manufacturing method offers sufficient balance between energy efficiency in production and economic factors.

As a result, thermoforming has been applied to the mass production of thin-wall products, which is difficult to achieve by injection forming, such as food packaging containers or blister packages, which are indispensable for merchandise distribution. It has also been applied to the production of a wide variety of products in small quantities, such as large thin-wall products or hollow products (Figure 3.166). A thermoforming method used in conjunction with a sheet extruding machine is employed for the manufacturing of large industrial parts requiring higher production efficiency, such as door-liners and inner boxes for refrigerators or interior/exterior goods for automobiles. Thermoforming has developed to become the general-purpose forming method for thermoplastic resins.

Textbook Series

Polymer Processing Study VI

Advanced Polymer Processing Techniques

December 25, 1999 First print of the first edition

Copyright ©: Japan Society of Polymer Processing

Publisher: Mitsuru Takahashi

Publishing office: Sigma Publishing Co., Ltd.

15-8, Sakuragaoka-cho, Shibuya-ku, Tokyo 150-0031

TEL: 03-3477-0336

FAX: 03-3477-2710

Printing office: Shinnihon Printing Co., Ltd.

Book binding office: Kodaka Book Binding Co., Ltd.

Printed in Japan ISBN4-915666-45-X-C3058